Aus dem Institut für Anaesthesiologie der
Universität Düsseldorf
Direktor: Professor Dr. M. Zindler

Patientenüberwachung während der Narkose mittels transcutaner Sauerstoffdruckmessung unter besonderer Berücksichtigung der Narkosegase Halothan und Enfluran.

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Rainer Halcour

1982

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf.

Der Dekan der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
gez.: Prof.Dr. G.Arnold

Referent
gez.: Priv.-Doz.Dr. K.Strasse

Korreferent
gez.: Priv.-Dr. G.Goeckenjan

Inhaltsverzeichnis

		Seite
	Abkürzungen	1
1.	Einleitung	2
2.	Das Meßgerät	6
3.	In vitro-Messung	9
3.1	Versuchsaufbau	9
3.2	Versuchsdurchführung	10
3.3	Ergebnisse der in vitro-Messung	12
3.4	Diskussion zur in vitro-Messung	14
3.5	Schlußfolgerung	15
4.	In vivo-Messung	16
4.1	Meßvoraussetzung und Durchführung der Messung	16
4.2	Ergebnisse der in vivo-Messung	19
4.2.1	Handhabung	19
4.2.2	Anwendbarkeit	20
4.2.3	Störgrößen	21
	Elektrokoagulation	21
	Kreislauf	21
	Körpertemperatur	22
	Drift	22
4.2.4	Statistische Auswertung	23
5.	Diskussion	32
6.	Zusammenfassung	39
	Literatur	41

Tabellen

Seite

Tab.1 : Technische Daten der Meßanordnung 8

Tab.2 : Daten der untersuchten Patienten,Dauer und Drift der Messung 18

Tab.3 : Die statistischen Ergebnisse im Überblick 25

Tab.4 : Vergleich der Relationen vor Narkose und in Narkose 26

Abbildungen

Abb.1 : Versuchsaufbau zur experimentellen Messung 11

Abb.2 : Driftanstieg und Abfall unter Halothaneinfluß (exp.Mess.) 13

Abb.3 : Narkosezwischenfall (Diskonnektion des Tubus) 27

Abb.4 : Vergleich der Relationen vor/in Narkose 28

Abb.5 : t_cPO_2-Abhängigkeit während Blutdruckschwankung bei Blutverlust und Volumengabe 29

Abb.6 : Verhalten des t_cPO_2/der relt.Perf. nach Gabe von Akrinor 29

Abb.7 : Blutdruckabhängigkeit des t_cPO_2 und der relt.Perf. bei Verschluß und Öffnung der Aorta 30

Abb.8 : t_cPO_2-Anstieg von 0 Torr auf 300 Torr nach Bypassende 31

Abkürzungen

MWA : Messwertaufnehmer; t_cPO_2-Meßelektrode

P_{art} : arterieller Blutdruck

$\bar{P}_{art}$: arterieller Mitteldruck

$(\bar{P}_M = P_{Diast.} + 1/2\ (P_{Syst.} - P_{Diast.}))$

P_aO_2 : arterieller Sauerstoffpartialdruck

relt.Perf.: relative Perfusion der Hautgefäße; nach Huch (20) proportional der relativen Heizleistung der Elektrode.

t_cPO_2 : transcutaner Sauerstoffpartialdruck

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538101_0060

1. Einleitung

Physikalisch gelöster Sauerstoff wird in elektrolytisch leitenden Medien an Edelmetallkathoden reduziert. Bei einer definierten Vorspannung von - 600 bis - 800 mV ist der fließende Reduktionsstrom dem vorliegenden Sauerstoffpartialdruck (PO_2) proportional (5).

Dieses polarographische Meßprinzip machten sich Davies und Brink 1942 zunutze. Sie maßen den PO_2 im Blut mit Hilfe einer Kollodium-bezogenen Platinelektrode.

Clark verbesserte die Meßmethode (1953/1956) entscheidend, indem er die Elektrode mit einer für Sauerstoff durchlässigen Zellophanmembran überzog. So wurde eine stabile intravasale PO_2-Messung möglich, wie sie auch heute noch in modifizierter Form angewandt wird.

Diese Meßmethode ist jedoch mit einigen Komplikationen behaftet:

- Durch Intimaverletzungen können sich intravasal Thromben bilden.
- Fibrinauflagerungen am Meßwertaufnehmer verändern nach relativ kurzer Zeit den Meßwert.

UNIV. LEIDEN MED.

So suchte man neben dieser,für den Patienten sehr eingreifenden PO_2-Meßmethode,eine schonendere Möglichkeit der Messung.

Beim Versuch,den arteriellen PO_2 über die Haut (transcutan) zu messen,fand man auf der nicht vorbehandelten Haut einen PO_2 von nur wenigen Torr (10;18).Baumberger und Goodfriend (1951) hyperämisierten die Haut in einem Wasserbad auf 45°C und wiesen unter diesen Bedingungen eine erhöhte O_2-Diffusion durch die Haut nach.

Man versuchte nun mit verschiedenen Mitteln (Nicotinsäure,Histaminphosphat,UV-Licht),den transcutanen PO_2 (t_cPO_2) durch Hyperämie auf höhere und stabilere Werte zu bringen (10;17).

Die Hauterwärmung mittels eines in die Meßelektrode integrierten Heizelementes hat sich im Rahmen dieser Untersuchungen am nützlichsten erwiesen.

Sowohl die Arbeitsgruppe Eberhard,Mindt und Hammacher als auch Huch R.und A.und Lübbers entwickelten brauchbare t_cPO_2-Meßelektroden mit integriertem Heizelement (8;19).Bis heute hat sich die Meßmethode mit der von Huch entwickelten Elektrode durchgesetzt(19).

Bei einer Hauttemperatur von 43°C ist eine der wich-

tigsten Grundvoraussetzungen für eine stabile Messung, die maximale Dilatation der Hautgefäße,erfüllt.
In der Perinatalmedizin hat die transcutane Meßmethode aufgrund der guten Durchblutungsverhältnisse der Haut und der geringen Cutisdicke der Säuglinge bereits sehr gute Ergebnisse gebracht (19).

Es gibt nun verschiedene Einflußgrößen,die den t_cPO_2 in falsch-negativer oder falsch-positiver Weise beeinflussen.
Insbesondere durch die Erwärmung des Blutes unter dem Meßwertaufnehmer ergeben sich veränderte Meßwerte. Der Sauerstoff wird aus seiner Bindung am Hämoglobin gelöst (Rechtsverschiebung der Sauerstoffsättigungskurve).Außerdem nimmt mit der Erwärmung die Physikalische Löslichkeit des Sauerstoffs im Plasma ab (der Bunsen'sche Löslichkeitskoeffizient wird kleiner). Diese falsch-positive Meßwertveränderung wird zum Teil durch den erhöhten Stoffwechsel des Hautgewebes und dessen Eigenschaft als Barriere gegenüber der Sauerstoffdiffusion kompensiert (23).
Zur ausreichenden Perfusion der Hautkapillare mit arteriellem Blut ist neben der maximalen Dilatation ein stabiler Kreislauf notwendig,der den Blutfluß

durch die dilatierten Gefäße aufrecht hält.Bei Kreislaufinsuffizienz zeigt sich entsprechend zwischen dem transcutanen und dem arteriellen PO_2 eine schlechte Korrelation,insbesondere dann,wenn der Blutdruck stark schwankt (12;26).
Severinghaus wies 1971 nach,daß Halothan an der Clark'schen Elektrode in vitro eine falsch-positive PO_2-Drift bewirkt (24).
Heute ist bekannt,daß auch die von Huch entwickelte Elektrode auf Halothan in vitro anspricht (2;22;25).

Im Rahmen dieser Arbeit soll die intraoperative Anwendbarkeit der t_cPO_2-Messung anhand der Gerätekombination "OXYPART/TRANSOXODE"der Firma Dräger unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Narkosegase Halothan und Enfluran überprüft werden.

2. Das Meßgerät

Die in dieser Arbeit angewandte Meßanordnung der Firma Dräger zur transcutanen PO_2-Messung besteht aus dem Analysegerät OXYPART mit integriertem Trendschreiber und dem Meßwertaufnehmer TRANSOXODE bauähnlich mit der Huch'schen Elektrode (Tab.1)(19).
Es wurde bei einer Elektrodenkerntemperatur von 45 °C gemessen.
Die relative Heizleistung,die nach Huch (20) proportional zur Perfusion der Hautgefäße ist,wurde mit aufgezeichnet.
In das Analysegerät ist ein Akku eingebaut,der die Polarisationsspannung der Elektrode auch nach Ausschalten noch vier Wochen aufrechthält.Hierdurch werden Effekte,die durch Schwankungen in der Stromspannung des Stromnetzes oder durch kurzes Ausschalten entstehen,vermindert.
Der Meßwertaufnehmer besteht aus einer Platinkathode, welche mit einer 25 µm dicken Teflonmembran überzogen ist.Als elektrochemisches Leitmedium zwischen Membran und Kathode wird eine wasserfreie Elektrolytlösung mit einem pH von 10 verwendet,die eine stabile PO_2-Messung,auch über längere Zeit,gewährleistet.

Vor und nach jeder Messung wurde das Gerät auf den jeweiligen Luft-PO_2 des Tages und auf den Nullpunkt geeicht. Die Nulleichung wurde durch Luftabschluß der Elektrodenmeßoberfläche mit einer Nullösung vorgenommen.

Um das Verhalten der Messung unter Halothan- und Enfluraneinfluß ohne klinische Störgrößen zu beobachten, wird der Messung in der Klinik eine experimentelle Messung in vitro vorangestellt.

Transoxode (Elektrode)	Elektrodenkern-temperatur	45 °C oder 43 °C (wahlfrei)
	T_{90}- Zeit	10 sec
	Hyperämiezeit	ca. 20 Minuten (bei Erwachsenen)
	Membran- und Elektrolyt-wechselperiode	ca. eine Woche
	Länge der Meßleitung	2,5 m
	Meßkopfgewicht	3,2 g
Oxypart (Analyse-gerät)	PO_2-Meßbereich	0 - 200 Torr oder 0 - 800 Torr
	Relative Heizleistung (Meßbereich)	0 - 1000 Promille
	Schreibbreite Kanal 1	80 mm (PO_2)
	" " Kanal 2	40 mm (relative Heiz-leistung)
	Schreibgeschwindigkeit	1 mm/min oder 10 mm/min
	Alarmtriggerung	Grenzwerte einstell-bar
	Stromversorgung	220 V oder 115 V
	Abmessung	Breite 385 mm Höhe 210 mm Tiefe 345 mm
	Gewicht	13 kg

Tab.1: Technische Daten der Meßanordnung (Transoxode/Oxypart).

3. In vitro-Messung

3.1 Versuchsaufbau

Damit die Elektrode einer über Stunden gleichbleibenden Narkosegaskonzentration ausgesetzt blieb, wurde sie in ein Glasgefäß (ca.600 ml) gehängt,welches gegen die Außenluft mit einem Gummistopfen verschlossen war.

Der Stopfen war für die Gaszu- und Ausfuhr sowie für das Elektrodenkabel dreifach perforiert.Der gesamte Verschlußkomplex wurde zusätzlich noch mit Vaseline versiegelt.

Der Boden des Gefäßes wurde mit Wasser aufgefüllt, um,ähnlich wie in vivo,eine Luftfeuchtigkeit von 100 Vol % zu schaffen.

Der Elektrodenkopf befand sich während der Messung in der Gasphase.

Die Messung wurde mit einem Papiervorschub von 10 mm pro Minute aufgezeichnet.

Die Elektrodenkerntemperatur betrug 45 °C.

Als inertes Trägergas wurde gereinigter Stickstoff verwendet.Die exakte Narkosegaskonzentration im Meßgefäß wurde mit dem Massenspektrometer der Firma Perkin-Elmer (Medical Instruments;MGA1100) überprüft.

Das Narkosegas wurde über einen Verdampfer dem Trä-

gergas beigemischt (Abb.1).

3.2 Versuchsdurchführung

Das Stickstoffgas wurde im Verdampfer mit der gewünschten Narkosegaskonzentration durchmischt und dann in die Meßkammer geleitet.Die genaue Konzentration wurde im Auslaßschlauch mit dem Massenspektrometer überprüft und anschließend die Feinkorrektur am Verdampfer vorgenommen.

Wenn sich die gewünschte Gaskonzentration im konstanten Fließgleichgewicht befand,wurden Zu- und Ausfuhr gleichzeitig an den entsprechenden Schläuchen mit einer Klemme unterbrochen.

Nach sechs Stunden fortlaufender Messung wurde die Gaskonzentration vor Beendigung nocheinmal mit dem Massenspektrometer überprüft.

Danach wurde noch der Auswaschvorgang des Narkosegases an Luft beobachtet (Abb.2).

Es wurden je zwei Messungen bei Halothankonzentrationen von 0 / 0,5 / 1 / 2 / 3 / 4 Vol% durchgeführt.

Die Messungen mit Enfluran wurden bei Konzentrationen von 2 und 4 Vol% vorgenommen.

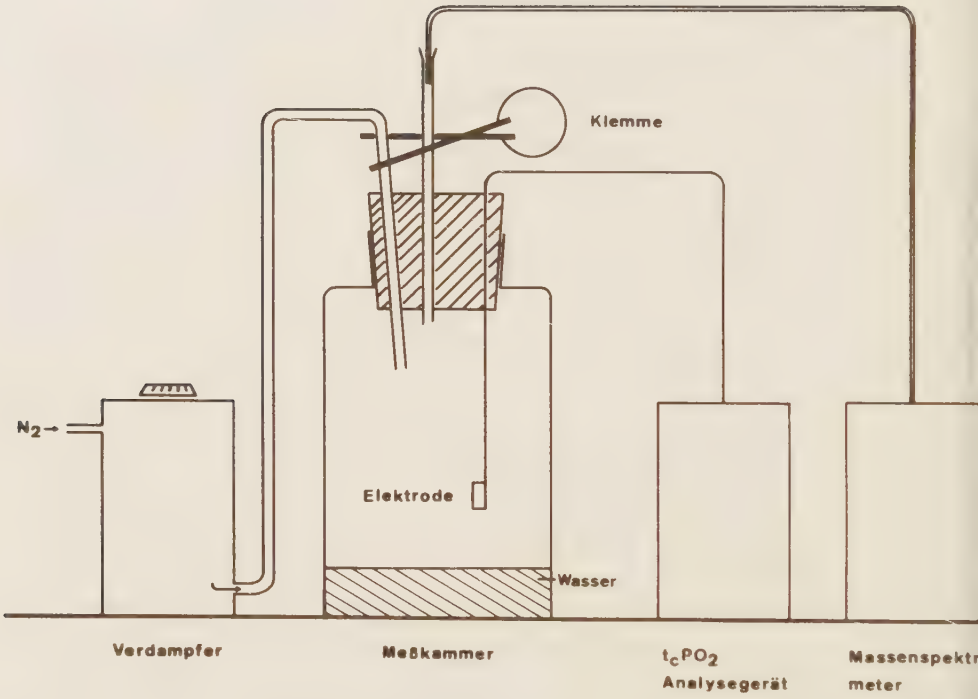

Abb. 1 : Versuchsaufbau zur experimentellen Messung der Einflußgrößen von Halothan und Enfluran.

3.3 Ergebnisse der in vivo- Messung

Es ergab sich eine relativ träge Reaktion der t_cPO_2-Messung auf Halothaneinfluß.Nach ca. 20 Minuten begann eine positive Drift,die nach ca. 350 Minuten einen maximalen und konstanten Wert erreichte.Die Größe der Drift war linear von der jeweiligen Halothankonzentration abhängig.Bei einer Konzentration von 1 Vol %,wie sie während Narkose üblich ist,ergab sich über eine Zeit von sechs Stunden eine maximale Drift von 20 Torr.

Die Auswaschzeit des Halothans an Luft betrug ca. 4 1/2 Stunden.Zu Beginn der Auswaschzeit war der Luft-PO_2 um den Driftwert erhöht.

Die Kontrollmessung der Gaskonzentration vor Ende des Messdurchgangs ergab in der Regel eine leicht niedrigere Halothankonzentration als zu Beginn der Messung.

Ein Sauerstoffzugang von außen in das Gefäß konnte massenspektrometrisch nicht nachgewiesen werden.

Bei den Vergleichsmessungen mit Enfluran (2 und 4 Vol %) ergab sich keine Drift.

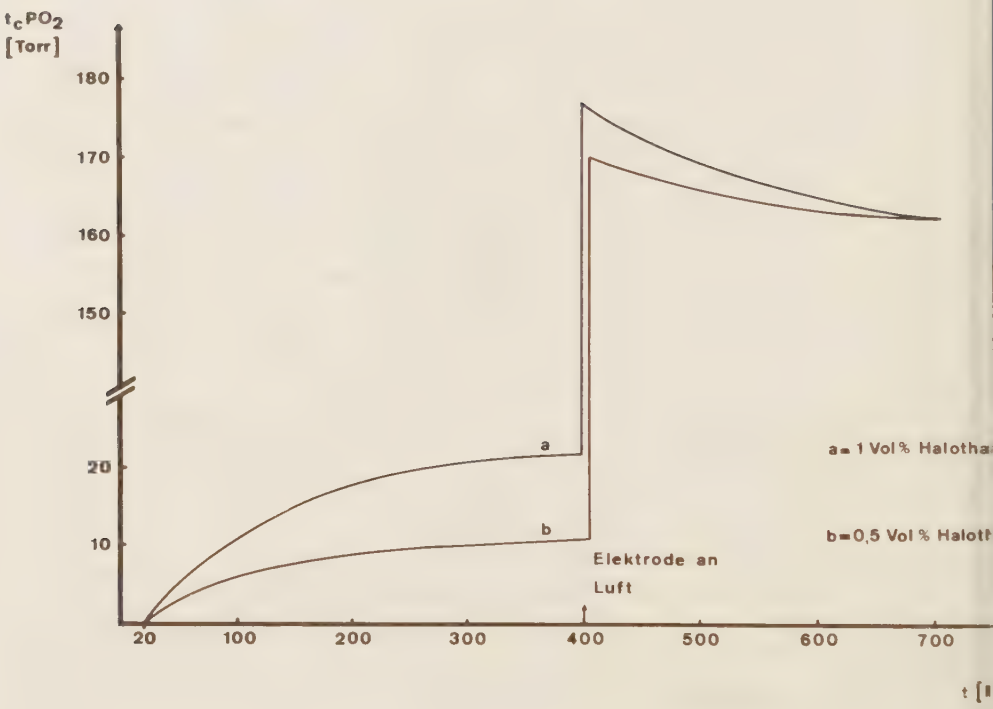

Abb. 2 : Graphische Darstellung des Driftanstiegs bzw. Abfalls während Halothaneinfluß unter den im Text beschriebenen experimentellen Bedingungen.Es werden beispielhaft die beiden klinisch relevanten Konzentrationen (0,5 Vol%, 1 Vol%) gegenübergestellt.

3.4 Diskussion zur in vitro-Messung

Das Meßverhalten der Elektrode unter Halothaneinfluß ist insbesondere durch die Eigenschaft der Elektrodenmembran bestimmt (7;9;15).Die im Rahmen dieser Arbeit verwendete Teflonmembran ist nur schwer für Halothan durchgängig.Diese Eigenschaft macht sich in der langen Ansprechzeit von 20 Minuten und der vollen Auswirkung des Halothaneinflusses nach erst 350 Minuten bemerkbar.
Die leichte Abnahme der Halothankonzentration im Meßgefäß könnte durch Reduktion des Halothans an der Elektrode hervorgerufen worden sein.Es gibt keine weiteren Anzeichen für ein Entweichen des Halothans aus dem Meßgefäß.In diesem Falle wäre auch Sauerstoff,welcher unter der Messung nicht nachgewiesen wurde,in das Gefäß diffundiert.

Wie im vorliegenden Ergebnis zeigte auch Stosseck (1977),daß die Drift unter Halothaneinfluß bei Zugabe von Sauerstoff unbeeinflußt bleibt und sich lediglich dem tatsächlichen PO_2 aufstockt (25).Es ist deswegen nur ein additiver Effekt in der Halothandrift bei klinischer Messung zu erwarten.
Des weiteren stimmt Stossecks Untersuchung über

den Enfluraneinfluß auf den t_cPO_2 ebenfalls mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit überein.

Diese Ergebnisse in vitro lassen sich nicht ohne weiteres auf die Situation in vivo übertragen,weil die Diffusionsverhältnisse der Narkosegase durch die menschliche Haut noch unklar sind.

3.5 Schlußfolgerung

Unter der Annahme,daß Halothan in ausreichend hoher Konzentration vom Blut zur Hautoberfläche diffundiert, läßt sich feststellen:

- Der Einfluß beginnt,wegen der trägen Ansprechbarkeit auf Halothan,zeitlich um ca. 20 Minuten versetzt.Somit ist ein Trendeinfluß durch Halothan, wegen der trägeh Reaktion nicht zu erwarten.Ein Einfluß auf den absoluten t_cPO_2-Wert von maximal 20 Torr bei einer Konzentration von 1 Vol% ist jedoch möglich.
- Unter der o.a. Voraussetzung müßte sich auch in vivo eine positive Luft- und Nulldrift bemerkbar machen.
- Für Enflurannarkosen ist ein Einfluß auf die t_cPO_2-Messung nicht zu erwarten.

4. In vivo-Messung

4.1 Meßvoraussetzung und Durchführung der Messung

Die t_cPO_2-Vergleichsmessungen wurden an erwachsenen Patienten der Chirurgischen Klinik und Poliklinik der Universität Düsseldorf vorgenommen (Tab.2).

Auch in der klinischen Messung betrug die Elektrodenkerntemperatur 45 °C.

Die Messung wurde mit einem Papiervorschub von 10 mm/min aufgezeichnet.

Folgende Fehlermöglichkeiten wurden bei der Durchführung der Messung besonders beachtet:

- Ein Lufteinschluß,sowohl in der Elektrolytlösung als auch zwischen Elektrodenmembran und Haut des Patienten,kann den Meßwert verfälschen (23).
- Zu starker Druck auf die Elektrode während der Messung mindert die Perfusion der Hautgefäße und damit den PO_2 der Haut (10;19;21).
- Die Dauer der Messung sollte in vivo sechs Stunnicht überschreiten,da sonst Mikroverbrennungen der Haut die t_cPO_2-Messung beeinträchtigen (13).

Nach der Anfangseichung wurde die Elektrode im Vorbereitungsraum mit einem beidseitig klebenden

Haftring infraklavikulär am Patienten fixiert.
Zur Verdrängung der Luft zwischen den Kontaktflächen Haut und Elektrodenmembran wurde ein Tropfen Aqua destillata verwendet.
Bis zur vollständigen Hyperämie der Haut dauerte es nun ca. 20 Minuten.In dieser Zeit stellten sich der t_cPO_2-Meßwert und der Heizstrom auf konstante Werte ein.
Nach Einleitung des Patienten zur Operation wurde der Patient zusammen mit den Beatmungs- und Überwachungsgeräten in den Operationsbereich gefahren. Um die Steckdose zu wechseln,mußte dazu das t_cPO_2-Analysegerät für kurze Zeit (ca. 30 sec) abgeschaltet werden.
Die t_cPO_2-Meßwerte wurden in stabilen Meßphasen mit dem arteriell entnommenen PO_2 der Blutgasanalyse verglichen.Das Blut wurde der Arteria radialis bzw. bei extrakorporaler Perfusion aus der Perfusionsmaschine entnommen.
Eine Meßperiode dauerte im Durchschnitt 4 1/2 Stunden.Danach wurde die Elektrode erneut geeicht und der Driftwert ermittelt (Tab.2).

Anzahl d. Patienten	mittl. L-Alter	Operation	Narkose	mittl. Perioden-messdauer (Std.)	mittl. Drift/Std. (Torr)
18	58	Gefäß-OP	Peridu-ralanae. +Enflu - ran 0,5 Vol %	3 1/2	0,53
9	51	Herz-OP + extrakorp. Perf.	Enfluran ca.1 Vol%	3 1/2	1,44
8	44	Verschie-dene OP(s)*	Halothan	4	2,41

)* Sigma-OP 1 X
Bauchdeckenplastik 1 X
Anusrückverlagerung 2 X
Varizen- OP 2 X
Plattenosteosynthese 1 X
Sympathektomie 1 X

Tab.2 : Daten der untersuchten Patienten,Dauer und Drift der Messung.

4.2 Ergebnisse der in vivo-Messung.

4.2.1 Handhabung

Die Bedienung des Gerätes erforderte keine besonderen technischen Fertigkeiten.

Unmittelbar nach Neubezug der Elektrode mit einer neuen Membran verhielt sich das Gerät während der Eichung erfahrungsgemäß labil.Zeitweise war es nicht möglich,den PO_2-Luftwert einzustellen. Diese instabile Phase wurde überbrückt,indem das Gerät nach Membranbezug vor der Messung über mehrere Stunden eingeschaltet blieb.Danach ließ sich der PO_2-Luftwert mühelos einstellen und blieb auch in späteren Kontrolleichungen kostant.

Die Vorbereitung und Einleitung des Patienten zur Operation war die schwierigste Phase der Messung, da sich in dieser Zeit die Elektrode wegen der häufigen Manipulation am Patienten im Meßbereich ablösen konnte.Durch erneutes Eichen,Aufkleben der Elektrode und Abwarten bis zur Hyperämie ging in den entsprechenden Fällen kostbare Meßzeit (mindestens 25 Minuten) verloren.

Beim Überwechseln vom Vorbereitungsraum in den Operationssaal,mit kurzer Unterbrechung der Stromversorgung,zeigte sich keine wesentliche Meßwert-

veränderung.

Die Kabelverbindung zwischen Patient und Analysegerät behinderte das mit dem Patienten beschäftigte Personal,da deswegen die gesamte Meßanordnung umgangen werden mußte.

Im Operationssaal ergaben sich keine Probleme in der Handhabung,da,nach Einnahme einer festen Position des Gerätes,keine weiteren Manipulationen im infraklavikulären Meßbereich stattfanden.

4.2.2 Anwendbarkeit

Der Einsatz der t_cPO_2-Messung intraoperativ hat sich als nützlich erwiesen.Insbesondere in den kritischen Phasen der Narkose war die Messung ein brauchbarer Trendmesser für den jeweiligen P_aO_2.Intubation und Extubation konnten mit größerer Sicherheit durchgeführt werden.Das Absaugen nach Extubation konnte besser in seiner Effektivität beurteilt werden.In einem Fall konnte sogar ein Narkosezwischenfall (Ablösen des zuführenden Beatmungsschlauches vom Tubus) noch rechtzeitig aufgrund des typischen t_cPO_2-Abfalls (linearer Abfall) erkannt werden (Abb.3).

4.2.3 Störgrößen

Elektrokoagulation

Während Elektrokoagulation zeigte sich ein nur sekundenlanger Anstieg des t_cPO_2 von unterschiedlicher Größe,der aber nach Koagulation sofort den ursprünglichen Wert wieder einnahm.Ein dauerhafter Einfluß auf die t_cPO_2-Messung war nicht zu erkennen.

Kreislauf

Die Patienten waren in der Regel kreislaufstabil oder wurden von seiten der Anaesthesie kreislaufstabil gehalten.Blutdruckanstieg bewirkte einen positiven Trend sowohl des t_cPO_2 als auch der relativen Perfusion,Blutdruckabfall hatte den gegenteiligen Effekt.Kreislaufbeeinflussende Manipulationen von seiten der Chirurgie (Abklemmen oder Öffnen der Aorta,Volumenverlust,Druck auf die Vena cava) und von seiten der Anaesthesie (Volumengabe,Vasopressoren,Vasodilatatoren) machten sich im Sinne der jeweiligen Blutdruckschwankung bemerkbar (Abb.5;6;7).

Körpertemperatur

Die t_cPO_2-Messung während Hypothermie bei Herzpatienten war in ihrer Aussage unsicher. Einerseits ergaben sich manchmal gute Vergleichswerte zwischen t_cPO_2 und P_aO_2, andererseits fiel der t_cPO_2 z.B. in zwei Meßperioden bei normalen P_aO_2-Werten fast auf 0 Torr ab. Mit Anstieg der Körpertemperatur (nach Bypassende) erreichte der t_cPO_2 in einer der beiden Messungen wieder vergleichbare Werte (Abb.8).

Drift

In der Regel ergab sich bei der Endeichung an Luft eine positive Drift (der PO_2-Wert nach der Messung war größer als vor der Messung).

In der Gruppe der Gefäßoperationen (Periduralanaesthesie + 0,5 Vol % Enfluran) driftete der t_cPO_2 mit 0,5 Torr/Std. am wenigsten.

Bei den Herzoperationen (Enflurannarkose) ergab sich eine Drift von 1,4 Torr/Std..

Die mit Abstand größte Drift an Luft von 2,4 Torr/Std., war bei Halothannarkosen zu verzeichnen.

Bei der Eichung auf Null zeigte sich nur bei Halothannarkosen eine positive Drift von 1 Torr/Std..

4.2.4 Statistische Auswertung

Es wurde ein nicht ausgewähltes Kollektiv von Patienten hinsichtlich der Narkoseform bzw. des operativen Eingriffs untersucht (Tab.2). Kreislaufinstabile Patienten ($\bar{P}_{art}$ <70 mmHg) wurden ausgesondert.

Die statistischen Berechnungen wurden in der EDV-Anlage des Rechenzentrum der Universität Düsseldorf mit dem Programmsystem SPSS 7 durchgeführt.

Die t_cPO_2-Werte wurden nicht driftkorrigiert. Die Korrektur hätte eine Aussage über die tatsächliche klinische Anwendbarkeit des Meßprinzips verfälscht,da eine Angabe der Drift vor und während der Messung nicht möglich ist.

In der Gruppe der Patienten mit Periduralanaesthesie (Enflurangabe bis 0,5 Vol%) ergab sich eine hoch signifikante Korrelation zwischen t_cPO_2 und P_aO_2 von r= 0,9009.Auffällig ist die im Vergleich hierzu schlechte Korrelation bei Operationen mit Halothannarkose (r= 0,5635). Die Abweichung des t_cPO_2 vom P_aO_2 (t_cPO_2- P_aO_2) ist bei Halothannarkosen geringer und die Relation (t_cPO_2/P_aO_2) größer als bei Peridural-

anaesthesie (Tab.3).Beim Vergleich der Relationen vor Narkose und in Narkose zeigte sich in Halothannarkose der stärkste Anstieg (Tab.4;Abb.4).

Bei den Herzoperationen fällt die große Differenz zwischen transcutanem und arteriellem PO_2-Wert und deren hohe Standardabweichung,selbst bei normothermen Bedingungen,auf.
Unter hypothermen Bedingungen vergrößert sich die Differenz noch weiter.Die Korrelation zwischen t_cPO_2 und P_aO_2 ist sowohl in Normo- als auch in Hypothermie gleichermaßen schlecht.Mit Werten bei r= 0,4 liegen die Korrelationskoeffizienten bei Herzoperationen deutlich unter denen der anderen Operationsgruppierungen.
Die Relation in Narkose ist hier,im Gegensatz zu den anderen Gruppen,trotz relativ großer Gerätedrift (1,4/Std) kleiner als vor Narkose (Tab.4; Abb.4).

Operation bzw.Narkose	n*	mittl. t_cPO_2-P_aO_2 (Torr)	mittl. t_cPO_2/P_aO_2	Spearman-Korrelationskoeff. t_cPO_2 zu P_aO_2
Gefäß-OP Periduralanae.	89	-30,79 ±27,39	0,795 ±0,146	0,9009 xxx
Verschiedene OP(s)‚Halothan	17	- 8,47 ±34,79	0,989 ±0,210	0,5635 xx
Herz-OP Enfluran (normotherm)**	12	-73,17 ±70,53	0,645 ±0,304	0,4860 x
(hypotherm)***	24	-102,08 ±135,96	0,768 ±0,358	0,4750 xx

* : Anzahl der Vergleichsmessungen
** : Vergleichswerte vor Bypass
*** : Vergleichswerte während Bypass

Signifikanz

x : $0,05 \geq p > 0,01$
xx : $0,01 \geq p > 0,001$
xxx : $p \leq 0,001$

Tab.3 : Die statistischen Ergebnisse im Überblick.

Operation bzw.Narkose	n*	Relation vor Narkose	Relation in Narkose	Differenz
Gefäß-OP Periduralanae.	13	0,689 ±0,167	0,733 ±0,196	0,044
Verschiedene OP(s),Halothan	3	0,823 ±0,085	0,969 ±0,254	0,146
Herz-OP Enfluran (normotherm)**	4	0,850 ±0,139	0,762 ±0,239	-0,088
(hypotherm)***	4	0,848 ±0,185	0,863 ±0,388	0,015

* : Anzahl der Vergleichsmessungen

** : Vergleichswerte vor Bypass

*** : Vergleichswerte während Bypass

Tab.4 : Vergleich der Relationen vor Narkose und in Narkose. Siehe hierzu Abb.4 .

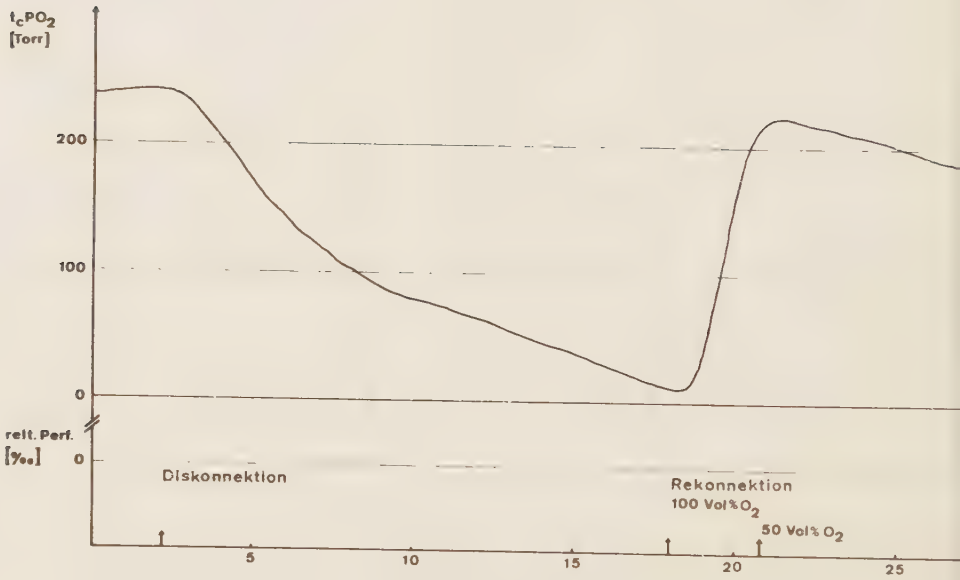

Abb. 3 : Narkosezwischenfall:

Nach Diskonnektion des Tubus fällt der t_cPO_2 in typischer weise bis auf 15 Torr ab.In dieser Phase wird der Beatmungsfehler erkannt und behoben.

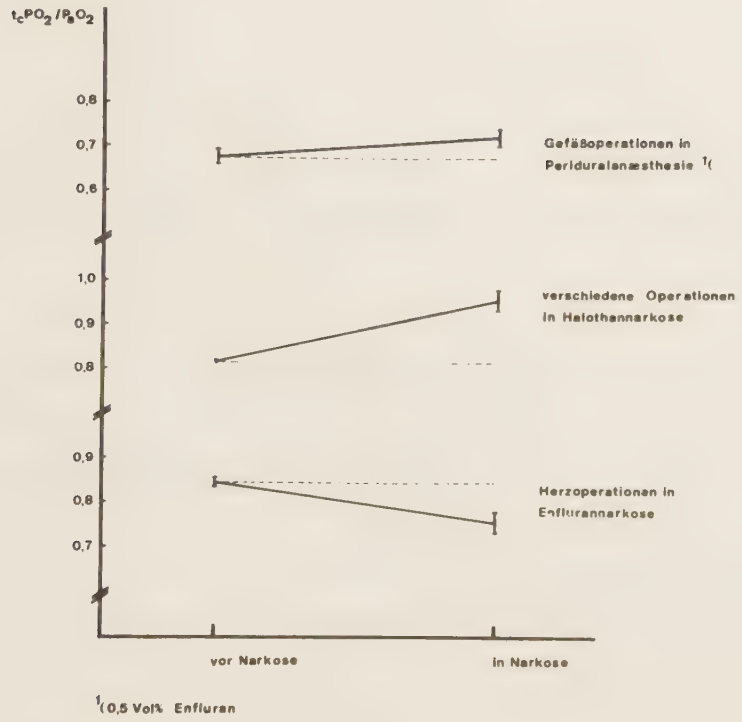

Abb.4 :Vergleich der Relationen vor und in Narkose.
(Siehe auch Tab.4)

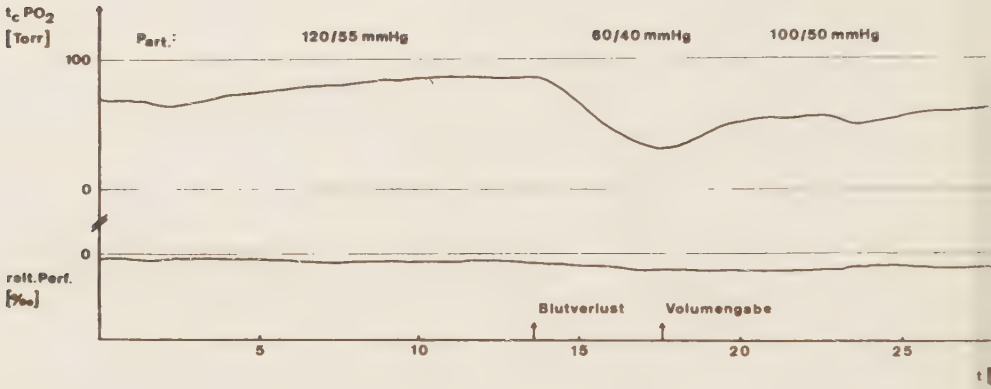

Abb.5 : Abfall des t_cPO_2 und der relativen Perfusion bei Blutdruckabfall während Blutverlust. Anstieg des t_cPO_2 unter Volumengabe.

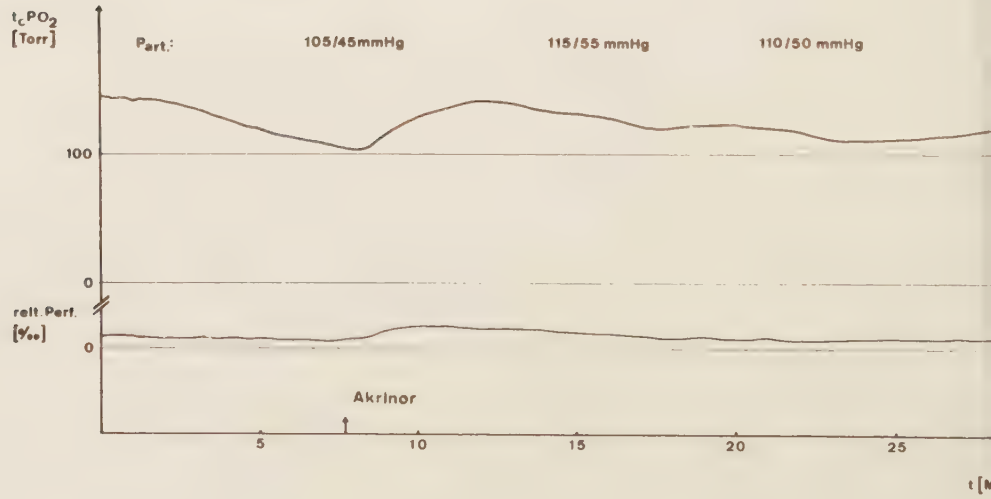

Abb.6 : Anstieg des t_cPO_2 und der relativen Perfusion bei Blutdruckanstieg nach Gabe von Akrinor.

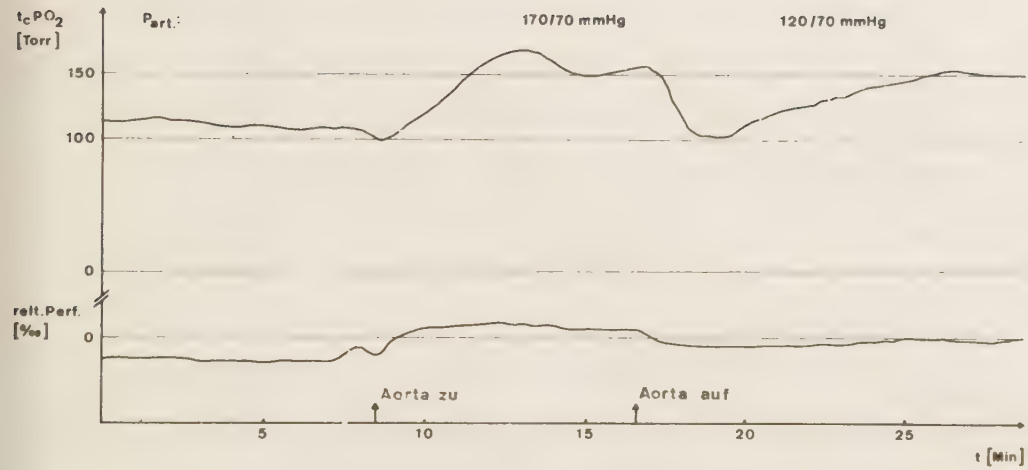

Abb. 7 : Blutdruckabhängigkeit des t_cPO_2 und der relativen Perfusion im Zusammenhang mit Verschluß und Öffnung der Aorta bei gefäßchirurgischen Eingriffen.

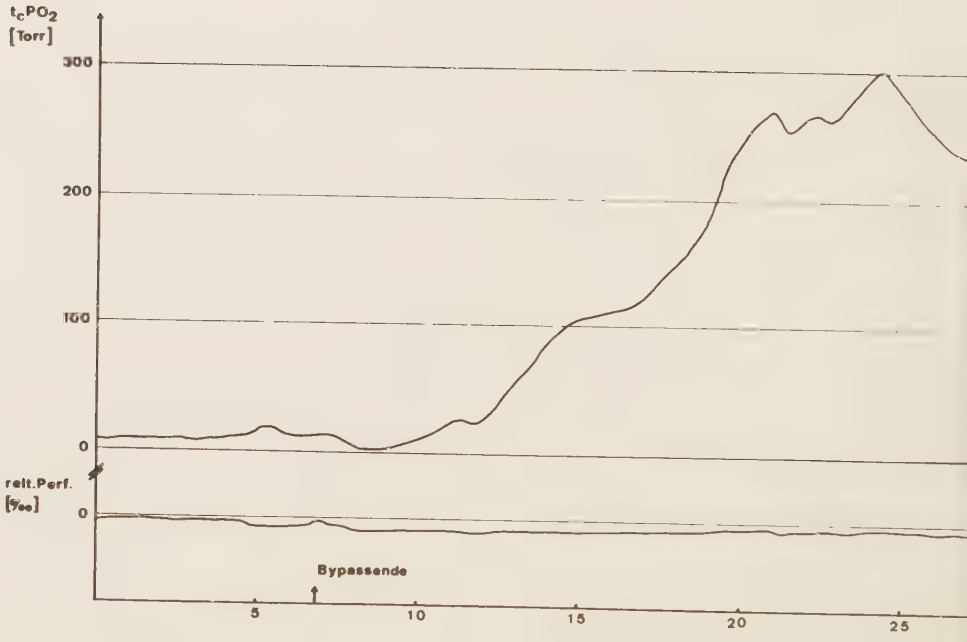

Abb. 8 : Anstieg des t_cPO_2 von Werten nahe 0 Torr auf 300 Torr nach Bypassende.

5. Diskussion

Durch die großen interindividuellen Unterschiede, insbesondere der Haut (Hautdicke,Kapillarisierung, PO_2-Leitwert der Epidermis) und der Kreislaufsituation (Kreislaufinsuffizienz,Kreislaufzentralisation,Blutdruckschwankung,Hautperfusion),läßt sich derzeit mit der transcutanen PO_2-Meßmethode nur eine Trendaussage über den PO_2 im arteriellen Blut machen.

Huch (1973) zeigte,daß bei Neugeborenen wegen der starken Kapillarisierung der Haut und der geringen Dicke der Cutis der t_cPO_2 um 11% über dem tatsächlichen P_aO_2 lag.Bei Erwachsenen war der t_cPO_2 wegen der unterschiedlichen Hautverhältnisse um 13% kleiner als der P_aO_2 (19).
Operative Bedingungen können die Fehleinschätzung des P_aO_2 noch begünstigen.Insbesondere die Kreislaufsituation beeinflußt die Aussagefähigkeit der t_cPO_2-Messung intraoperativ.
Goeckenjan,Strasser und auch andere Autoren zeigten,daß insbesondere Blutdruckschwankungen eine schlechte Korrelation zwischen t_cPO_2 und P_aO_2 bedingen (12;13;16).Zwar liegt unter Operationsbe-

dingungen selten eine Kreislaufinsuffizienz vor, Blutdruckschwankungen,von seiten der Chirurgie oder Anaesthesie hervorgerufen,sind jedoch relativ häufig.

Hempelmann und Stosseck (1976) beschreiben in ihrer Arbeit bei Messungen an einem inhomogenen Patientengut eine P_aO_2- Unterschätzung von 20- 30 % in Neuroleptanalgesie.Im Rahmen der vorliegenden Arbeit fand sich bei Messungen während Kombinationsnarkose (Periduralanaesthesie +0,5 Vol % Enfluran) eine Unterschätzung des P_aO_2 von ca. 21%.

Die hoch signifikante Korrelation zwischen t_cPO_2 und P_aO_2 (r= 0,9009) läßt eine zuverlässige Verlaufskontrolle bei Gefäßoperationen mit Kombinationsnarkose (Periduralanaesthesie + 0,5 Vol % Enfluran) erwarten.

Wie bei den Messungen in vitro machte sich auch in der klinischen Messung während Halothannarkose ein falsch-positiver Einfluß bemerkbar.

Die positive Drift war jedoch mit 1 Torr/Stunde relativ gering.Auch bei Eichung der Elektrode an Luft zeigte sich mit 2,4 Torr/Stunde zwar eine höhere Drift als bei den anderen Narkoseformen,

war aber bei weitem nicht so hoch,wie die experimentellen Daten erwarten ließen. Ob dieser Unterschied der Ergebnisse zwischen in vitro- und in vivo-Messung durch einen Membraneffekt der Haut des Patienten zu erklären ist,müßte noch abgeklärt werden.

Trotz der geringen Drift ist der Halothaneffekt jedoch auch in klinischer Messung klar erkennbar.Die geringe Differenz (t_cPO_2-P_aO_2 = -8,47 Torr) und die fast ideale Relation (t_cPO_2/P_aO_2 = 0,989) während Halothannarkose läßt sich wohl durch die stärkere Drift erklären,die die übliche Unterschätzung des P_aO_2 bei der t_cPO_2-Messung kompensiert.Die größere Streuung der Vergleichswerte bei Halothannarkose deutet die Unsicherheit in der Meßaussage an.Der im Vergleich zu den anderen Gruppen starke Anstieg der Relation vor und während Narkose zeugt ebenfalls von diesem Einfluß.

Wegen der geringen Differenz und seiner großen Standardabweichung ($\pm$34 Torr) ist eine intraoperative Überschätzung des P_aO_2 bei Halothannarkosen durchaus denkbar.So könnte z.B. ein normoxischer t_cPO_2-Wert von 80 Torr eine Hypoxie

mit einem P_aO_2-Wert von 56 Torr verschleiern. Nicht zuletzt auch wegen der schlechten Korrelation zwischen t_cPO_2 und P_aO_2 bei Halothannarkosen (r= 0,5635) ist deswegen ein häufiger Vergleich zwischen Blutgasanalyse und t_cPO_2 zur Überprüfung anzuraten.

Beim Vergleich dieser Ergebnisse mit den Erfahrungen anderer Autoren mit Halothan ist insbesondere die Membraneigenschaft der Elektrode bzw. deren Durchlässigkeit für Halothan zu berücksichtigen. Eberhard und Mindt (1979) konnten den Einfluß des Halothans mit einer Mylarmembran vollständig eliminieren, wobei sie allerdings eine verzögerte Ansprechbarkeit der Elektrode auf Sauerstoff in Kauf nahmen (9). Gøthgen (1979) zeigte andererseits in einer klinischen Messung mit einer Polypropylenmembran, daß die t_cPO_2-Messung während Halothannarkose unter diesen Bedingungen unbrauchbar ist (14). Mit einer Teflonmembran fand man in der Regel ähnliche Ergebnisse wie bereits im Rahmen dieser Arbeit gezeigt wurde (2;7;9;15).

Neben dem Halothaneffekt fanden Eberhard und

Mindt (1979) auch einen Einfluß auf den t_cPO_2-Meßwert durch Lachgas,insbesondere bei großer polarographischer Vorspannung (-1000 mV) oder hohem Elektrolyt-pH (pH $\geq$ 10) (9). Sie konnten den Einfluß verhindern,indem sie einen pH unter 10 und eine Vorspannung von -600 mV wählten. Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Meßgerät 'Oxypart' arbeitet mit einer Vorspannung von -800 mV und einen pH von 10.

Busack (1979) gibt bei in vitro-Messungen mit dem baugleichen Gerät "Oxymeter" während Lachgaseinfluß von 100 Vol% einen Maximalausschlag von 20 Torr an (2).

Frankenberger (1979) fand mit dem gleichen Gerät einen Anstieg des t_cPO_2 von 15 Torr (11). Berücksichtigt man,daß in Narkose Lachgaskonzentrationen von 50-70 Vol% verwendet werden, und daß die Haut des Patienten,neben der Elektrodenmembran,noch als Zusatzbarriere für die Lachgasdiffusion in die Elektrode wirkt,so ist der Resteinfluß bei in vivo-Messungen wohl vernachlässigbar klein.

Die unklaren Diffusionsverhältnisse an der Haut des Patienten während Hypothermie machen eine P_aO_2-Aussage mit der t_cPO_2-Messung bei Herzoperationen schwierig. Die schlechte Korrelation zwischen t_cPO_2 und P_aO_2 und die hohe Standardabweichung von Relation und Differenz deuten die starke Unsicherheit der Messung in Hypothermie an.

In den beiden Fällen, in denen der t_cPO_2 trotz normaler P_aO_2-Werte auf 0 Torr abfiel, handelte es sich wahrscheinlich um eine Zentralisation des Kreislaufes mit Perfusionsstop in den Hautgefäßen. Darauf läßt auch der Anstieg des t_cPO_2 nach Bypassende in einer der beiden Messungen schließen (Abb. 8).

Auch die Vergleichswerte in Normothermie vor Hypothermie sind bei Patienten mit Herzoperation schlecht. Ein Grund hierfür könnte eine chronisch schlechte Kreislauflage dieser Patienten und die damit verbundene Minderversorgung der Peripherie mit Blut sein.

Ähnliche Ergebnisse fanden auch Stosseck (1977) und Hempelmann (1976) bei Operationen mit extrakorporaler Perfusion (16;25).

Die Bedienung des Gerätes ist leicht erlernbar. Durch Verkleinerung oder Integration des Analysegerätes in andere Überwachungsgeräte könnte man eine größere Flexibilität in der Handhabung erreichen.Man sollte hierbei jedoch keinesfalls auf den Trendschreiber verzichten,weil nicht der absolute t_cPO_2-Wert,sondern nur der t_cPO_2-Trend für eine Aussage über den arteriellen PO_2 verwertbar ist.

6. Zusammenfassung

Die t_cPO_2-Messung mit der Gerätekombination Oxypart und Transoxode der Firma Dräger hat sich während Operationen mit Periduralanaesthesie in Kombination mit 0,5 Vol% Enfluranagabe im Rahmen dieser Arbeit als brauchbar erwiesen.

Der arterielle PO_2-Trend konnte in kritischen Phasen der Narkose (Intubation,Extubation,Diskonnektion,...) mit größerer Sicherheit beurteilt werden.

Halothan zeigte einen falsch-positiven Einfluß auf die t_cPO_2-Messung sowohl in vitro als auch in vivo.Es bewirkte unter operativen Bedingungen einen geringen positiven Trend mit großer Schwankungsbreite und kann somit zu einer Fehleinschätzung einer Hypoxie führen.Deshalb sollte man bei Halothannarkosen zur Orientierung den t_cPO_2 häufiger durch eine Blutgasanalyse überprüfen.

Enfluran zeigte keinen meßbaren Einfluß auf den t_cPO_2.

t_cPO_2-Messungen während Herzoperationen waren in ihrer Aussage wenig hilfreich.Große Streuung und geringe Signifikanz der Vergleichswerte lassen in diesem operativen Bereich den Einsatz der t_cPO_2-

Meßtechnik wenig sinnvoll erscheinen.
Eine Verkleinerung oder Integration des Gerätes in andere Überwachungsgeräte wäre im Sinne einer verbesserten Handhabung wünschenswert.

Literatur

(1) Baumberger,J.P.;Goodfriend,R.B.:
Determination of arterial oxygen tension in man by equilibration through intact skin.
Fed. Proc. 10, 10 (1951)

(2) Busack,H.J.;Großkreutz,R.;Karoß,K.;Neuhäußer,R.;
Schinkmann,M.:
Anmerkungen zur Technik der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung.
Med.Tech. 99, 4, 135 (1979)

(3) Clark,L.C.;Wolf,R.;Granger,D.;Taylor,Z.:
Continuous recording of blood oxygen tension by polarigraphy.
J.appl.Physiol. 6, 189 (1953)

(4) Clark,L.C.:
Monitor and controll of blood and tissue oxygen tensions.
Amer.Soc.for Art.Int.Organs 2, 41 (1956)

(5) Danneel,von H.:
Über den durch diffundierende Gase hervorgerufenen Reststom.
Z.Elektrochem. 4, 227 (1897/98)

(6) Davies,P.W.;Brink,F.:
Microelektrodes for measuring local oxygen tension in animal tissue.
Rev.sic.Instr. 13, 524 (1942)

(7) Dent,I.G.;Netter,K.J.:
Errors in oxygen tension measurements caused by Halothan.
Brit.J. Anaesth. 48, 1-506 (1976)

(8) Eberhard,P.;Hammacher,K.;Mindt,W.:
Schweizerische Patentanmeldung No. 14544/70
v.1.10.1970

(9) Eberhard,P.;Mindt,W.:
Interference of anaesthetic gases at oxygen sensors.
Birth Defects 15, 65 (1979)

(10) Evans,N.T.S.;Naylor,P.F.D.:
The systematic oxygen supply to the surface of human skin.
Resp.Physiol. 3, 21 1967)

(11) Frankenberger,H.;Neuhaeusser,R.E.;Ullrich,G.J.:
Industrial design of a universal transcutaneous blood gas measuring system of clinical use according to Huch-Lübbers.
Birth Defects 15, 45 (1979)

(12) Goeckenjan,G.;Strasser,K.:
Kontinuierliche intraarterielle und transcutane Messung des Sauerstoffpartialdrucks bei Kreislaufinsuffizienz.
Proc.Medex.Basel 1976

(13) Goeckenjan,G.;Strasser,K.:
Limitierende Faktoren der kontinuierlichen transkutanen PO_2-Überwachung bei erwachsenen Intensivpatienten.
Verh.9.Tag.Österr.Dtsch.Ges.Internist.Intensivmed.,Linz (1977)

(14) Gøthgen,I.;Jacobsen,E.:
Transcutaneous oxygen tension measurement during Halothane and Neurolept Anesthesia.
Birth Defects 15, 549 (1979)

(15) Hagihara,B.;Fukai,T.;Hachino,Y.;Nakayama,K.; Ishibashi,F.;Ohta,A.;Ohminato,S.;Takemura,H.; Hasegawa,T.;Kurachi,K.;Okada,Y.;Sugimoto,T.; Nomura,K.;Yoshida,K.:
A new $tcPO_2$ electrode and its application to adults.
Birth Defects 15,75 (1979)

(16) Hempelmann;G;Stosseck,K.:
Möglichkeiten und Grenzen der fortlaufenden Sauerstoffpartialdruckmessung im Blut (PaO_2) sowie transcutan ($tcpO_2$);
in Zindler und Purschke Neue kontinuierliche Methoden zur Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktion.(Thieme,Stuttgart 1976)

(17) Huch,A.;Huch,R.;Lübbers,D.W.:
Quantitative polarographische Sauerstoffdruck-messung auf der Kopfhaut des Neugeborenen.
Arch.Gynäk. 207, 443 (1969)

(18) Huch,R.;Lübbers,D.W.;Huch,A.:
Quantitative continuous measurement of the partial oxygen pressure on the skin of adults and newborn babies.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 337, 185 (1972)

(19) Huch,R.;Lübbers,D.W.;Huch,A.:
Transcutaneous measurement of blood PO_2 ($tcPO_2$).
Method and application in perinatal medicine.
J.Perinat.Med. 1, 183 (1973)

(20) Huch,A.;Lübbers,D.W.;Huch,R.:
Der periphere Perfusionsdruck.Eine neue nicht-invasive Meßgröße zur Kreislaufüberwachung von Patienten.
Anaesthesist 24, 39 (1975) (a)

(21) Lübbers,D.W.:
Cutaneous and transcutaneous PO_2 and PCO_2 and their measuring conditions.
Birth Defects 15, 13 (1979)

(22) McHugh,R.D.;Epstein,R.M.;Longnecker,D.E.:
Halothan mimics oxygen in oxygen microelectodes.
Anesthesiology 50, 47 (1979)

(23) Reineke,H.;Fiesel,G.;Frankenberger,H.;Ahnefeld,F.W.:
Der Oxymeter,ein neues Gerät zur kontinuierlichen transcutanen Messung des Sauerstoffpartialdruckes im arteriellen Blut.
Anaesthesist 26, 361 (1977)

(24) Severinghaus,J.W.;Weiskopf,R.B.;Nishimura,M.;
Bradley,F.:
Oxygen electrode errors due to polarographic reduction of Halothane.
J.Appl.Physiol. 31, 640 (1971)

(25) Stosseck,K.:
Transcutane Sauerstoffmessung.
Anaesthesiologie und Wiederbelebung 108,Springerverlag. (1977)

(26) Strasser,K.;Huch,A.;Huch,R.:
Intensivüberwachung von beatmeten Patienten durch kontinuierliche transcutane PO_2-Messung;
in RÜGHEIMER Kongressber.dt.Ges.Anästh.Wiederbel.
(Straube,Erlangen 1975)

Herrn Prof. Dr. M.Zindler danke ich für die Möglichkeit,diese Dissertation an seinem Institut durchführen zu können.
Für die Anregung des Themas,Überlassung des Meßgerätes und für die tatkräftige fachliche und menschliche Unterstützung sowie der ständigen Bereitschaft zur Diskussion über das Thema gilt Herrn Priv-Doz. Dr. K.Strasser mein besonderer Dank.
Herrn Prof. Dr. J.O.Arndt danke ich für die Möglichkeit,den experimentellen Teil meiner Messungen in seinem Institut durchführen zu können.
Herrn Priv.-Doz. Dr. H.Siepmann möchte ich an dieser Stelle für seine Hilfe im experimentellen Teil der Arbeit danken.

L E B E N S L A U F

Rainer Halcour

Geboren am 30.3.1949

ledig

Schulbildung,Beruf,Studium:

1955 - 1964	Volksschule
1964 - 1967	Herrenmaßschneiderlehre mit Gesellenabschluß
1967 - 1969	Gesellenzeit
1969 - 1970	Grundwehrdienst
1971 - 1972	Fachoberschule Klasse 10 mit Abschluß Mittlere Reife
1973 - 1975	Friedrich-Spee-Kolleg Neuß (Zweiter Bildungsweg) mit Abschluß Abitur
1975 - 1982	Studium der Medizin an der Universität Düsseldorf
1982	Erfolgreicher Abschluß der Ärztlichen Prüfung Dritter Teil